

**Л.И. СЕРАФИМОВА**, канд. техн. наук  
(Украина, Донецк, Донецкий национальный технический университет)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РЕАГЕНТОВ-ВСПЕНИВАТЕЛЕЙ**

В горно-металлургическом комплексе Украины одной из важных составляющих является уголь. С увеличением содержания тонких и глинистых фракций в добываемом угле определяющее значение приобретает обогащение и обезвоживание мелких и тонких его классов. Совершенствование технологии обогащения, позволяющей получить кондиционные по зольности концентраты, способствует повышению качества кокса и соответственно выплавляемого металла.

Одним из процессов обогащения тонких углей являются флотационные методы, которые исследовались достаточно широко в различные годы. В результате этих исследований разработаны основы гидродинамики и физики процесса. С увеличением содержания тонких классов в шламовых водах углеобогажительных фабрик возникает необходимость решения новых теоретических и практических вопросов, таких как применение рациональных режимов ведения процесса, поиск новых реагентов, создание конструкций машин для разных условий флотации.

Исследования, которые проводились в течение многих лет отраслевыми и научно-исследовательскими институтами, создали объективные предпосылки для доведения процесса флотации до широкого практического применения. Флотация применяется как метод обогащения не только в рудной, но и в углеобогажительной практике, особенно при обогащении углей коксующихся марок. Этот метод является единственным, который позволяет в этом случае доводить зольность товарного концентрата до необходимой кондиции. Кроме того, флотация обеспечивает регенерацию оборотной воды от твердой фазы, что имеет важное значение при использовании замкнутых водно-шламовых циклов [1].

Процесс флотации минералов является достаточно сложным для исследования, т.к. во взаимодействии принимают участие твердая, жидкая и газообразная фазы. От свойств этих фаз и результатов их взаимодействия при определенных термодинамических условиях в камере флотационной машины зависят конечные показатели процесса, а именно количество и качество пенного продукта.

Процессы, которые происходят в пенном слое на поверхности камеры флотационной машины, играют важную роль во флотационном обогащении. Стабильность пен влияет на интенсивность осыпания частиц. Но при этом пена должна легко разрушаться при удалении из камеры машины. Разрушение пен вызвано истечением междупленочной жидкости из каналов Плато-Гиббса, разделяющих воздушные оболочки пузырьков, которое носит название синерезиса. В пене происходит также диффузионный перенос газа за счет разности давле-

## Флотация

ний в пузырьках разных размеров, т.к. пузырьки в пене имеют разную дисперсность. Этот процесс способствует увеличению или уменьшению размеров воздушных пузырьков, изменяя гранулометрический состав пены. В пене происходит коалесценция из-за разрушения разделяющих пузырьки пленок жидкости при достижении ими некоторой критической толщины, чему способствуют истечение жидкости из пены и диффузия газа. Осыпание частиц из пены зависит от ее кратности, т.е. отношения объема пены к объему содержащейся в ней жидкости. Кратность пен по высоте также различна.

Характерно, что пена изменяет внешний вид от начала до конца флотации независимо от того, проводится она в лабораторных условиях или в непрерывно действующей флотационной промышленной установке. При проведении флотации в камере лабораторной флотационной машины внешний вид пены изменяется с течением времени. В условиях флотации на многокамерных флотационных машинах вид пены зависит от места ее съема. Изменение характера пены связано со степенью минерализации пузырьков в нижнем слое пены и с процессом изменения пузырьков в пене. Это изменение характера пены можно попытаться рассмотреть, исходя из следующих рассуждений. Предположим, что происходит флотация пульпы, состоящей из трех частей воды и одной части твердого, в котором флотационно активные зерна составляют пятую часть при удельном весе 5, а нефлотирующиеся частицы имеют удельный вес 3. Это означает, что объемная доля  $m$ , занятая флотационно активным твердым, равняется 0,013. Если коэффициент формы  $k$  равен 0,4 и высота поднятия пузырька  $h$  равна 50 см, то по уравнению

$$f = 0,62 \frac{m h k}{R} = \frac{1,612}{R},$$

при  $m = 0,1$  см  $f$  будет равно 1,612. Если величина  $m$  в результате флотации сократится от 0,013 до 0,013/1,61, то значение  $f$  станет равным единице. При дальнейшем уменьшении  $m$  значение  $f$  будет меньше единицы. Минерализация пузырьков в пульпе, извлечение минералов за единицу времени, размер пузырьков и минерализация пузырьков в верхнем слое пены – все изменяется с течением времени флотации или в зависимости от места съема пены, как это графически изображено на рис. 1.

Пена, благоприятная для флотации, похожа на кружева (так называемая "кружевная" пена). Такая пена имеет верхний слой пузырей, неполностью покрытых твердыми частицами, и является промежуточной между тяжелой многогранной и обводненной слабо минерализованной пенами.

С течением времени изменяется и форма жидких перегородок между газовыми фазами пены от почти плоской горизонтальной до сильно растянутой сферической, когда пузырек предпоследнего слоя становится пузырьком верхнего слоя. Это изменение геометрии перегородок происходит согласно уравнению; другими словами, оно отражает изменение в давлении на перегородку, когда она перестает быть перегородкой внутри пены и становится ее внешней границей.

Как следует из приведенного выше, конечные результаты флотационного обогащения определяются не только свойствами взаимодействующих фаз, гидродинамикой машин, аэрацией пульпы, реагентными режимами, но и процессами, протекающими в пенном слое на поверхности камер. Однако, многие авторы [2, 3] отмечают, что при описании этих процессов возникают значительные трудности, вызванные сложностью экспериментального их исследования, разнообразием свойств пен, таких как кратность, устойчивость, дисперсный состав. Перечисленные свойства пен определяются свойствами поверхностно-активных веществ (ПАВ), из растворов которых образованы пены. Таким образом, изучение свойств пен в зависимости от свойств ПАВ является актуальной задачей.

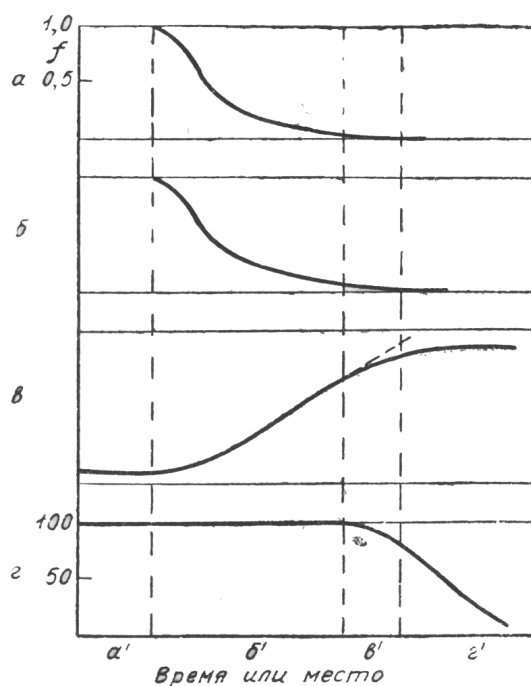


Рис. 1. Зависимость показателя  $f$  от времени флотации или от места съема пены

Данная статья имеет целью определить такие основные параметры пены как высота и обводненности пенного слоя, время и скорость разрушения, кратность пены, от которых зависят свойства пен и в итоге результаты обогащения.

В настоящее время номенклатура отечественных реагентов значительно уменьшилась. Однако поиски и исследование веществ, могущих выполнять роль вспенивателей продолжаются [4-8]. В данной работе для исследования были приняты следующие реагенты-вспениватели: ОПСБ (окись пропилен спирт бутиловый), смесь синтетических спиртов  $C_6$ - $C_7$ , Т-66 и Т-80. Первые два реагента применяются в основном при флотации руд. Реагенты Т-66 и Т-80 являются смесью кислородсодержащих соединений, получаемых как отходы химического производства, и широко используются в углеобогащении. Все эти реагенты относятся к неионогенным поверхностно-активным веществам и являются классическими по использованию во флотационном обогащении.

## Флотация

Пенообразующая способность реагентов исследовалась по стандартной методике: методом продувания их растворов через фильтр Шотта, впаянный в стеклянную трубку. Для поддержания постоянного расхода воздуха перед фильтром был установлен ресивер. Количество воды в пене определялось по разнице высот раствора до появления пены и при максимальной высоте столба пены. Объем первоначального раствора для всех реагентов был постоянным. Одновременно определялось время разрушения пены. Концентрация растворов реагентов-вспенивателей принята в диапазоне концентраций, используемых в промышленности. На базе этих измерений выполнялись дальнейшие вычисления.

На рис. 2 и 3 представлены экспериментально полученные и регрессионные зависимости для различных исследованных параметров (регрессионные зависимости показаны кривыми без точек).

Из проведенных экспериментальных исследований вытекает, что наибольшей пенообразующей способностью обладает вспениватель ОПСБ, т.к. он образует пену наибольшей высоты и соответственно объема (рис. 2). Далее по значениям дают близкие показатели реагенты Т-66 и Т-80, высота пены из растворов этих реагентов от 12 до 62 мм. Реагент, представляющий собой смесь синтетических спиртов, обладает наиболее низкой пенообразующей способностью. При высоких концентрациях данные по высоте пены для реагентов отличаются значительно.

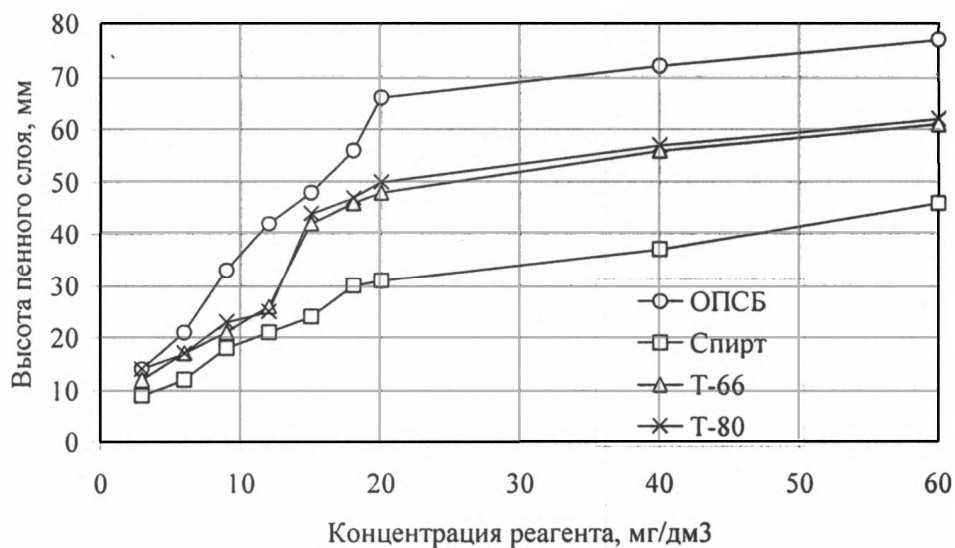
Обводненность пенного слоя для всех реагентов имеет близкие значения и увеличивается довольно быстро до концентрации  $20 \text{ мг/дм}^3$ , затем рост этого параметра замедляется. При концентрациях более  $20 \text{ мг/дм}^3$  величина обводненности изменяется мало и примерно одинакова для всех исследованных реагентов. Наименьшее количество воды содержат пены, образованные вспенивателем ОПСБ.

Наиболее быстро разрушаются пены, образованные спиртами, вспениватели Т-66 и Т-80 имеют близкие показатели, и наиболее устойчивой является пена из растворов ОПСБ. Соответственно изменяется и скорость разрушения пены. В таблице приведены регрессионные зависимости и величины достоверности аппроксимации  $R^2$  для исследованных параметров.

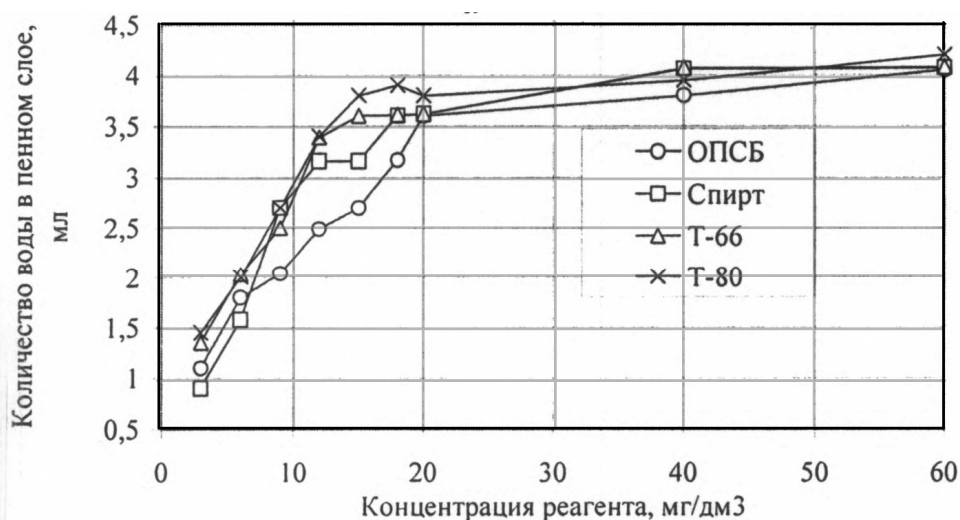
Уравнения регрессионных зависимостей для исследованных параметров			
Реагент	Обводненность пены, мл	Разрушение пены	
		время, с	скорость мм/с
ОПСБ	$Y = 1,103 \text{ Ln}(x) - 0,207$ $R^2 = 0,95$	$Y = 1,906 \text{ Ln}(x) - 1,816$ $R^2 = 0,96$	$Y = 20,14 x^{-0,104}$ $R^2 = 0,91$
Спирты	$Y = 1,131 \text{ Ln}(x) - 0,027$ $R^2 = 0,90$	$Y = 1,031 \text{ Ln}(x) - 1,221$ $R^2 = 0,91$	$Y = 21,687 e^{-0,009x}$ $R^2 = 0,95$
Т-66	$Y = 0,983 \text{ Ln}(x) + 0,522$ $R^2 = 0,89$	$Y = 1,407 \text{ Ln}(x) - 1,267$ $R^2 = 0,92$	$Y = 18,944 x^{-0,081}$ $R^2 = 0,89$
Т-80	$Y = 0,977 \text{ Ln}(x) + 0,644$ $R^2 = 0,85$	$Y = 1,475 \text{ Ln}(x) - 1,393$ $R^2 = 0,93$	$Y = 23,269 x^{-0,207}$ $R^2 = 0,72$

Регрессионные зависимости подбирались в ходе исследования таким образом, чтобы значение  $R^2$  было максимальным.

Анализ полученных закономерностей позволяет отметить, что для таких параметров как обводненность пены и время ее разрушения, получены логарифмические зависимости для всех исследованных реагентов. Для скорости разрушения пены наибольшие значения достоверности аппроксимации получены для степенного типа функций. Исключение составляют спирты, для которых функция экспоненциального типа описывает скорость разрушения пен.



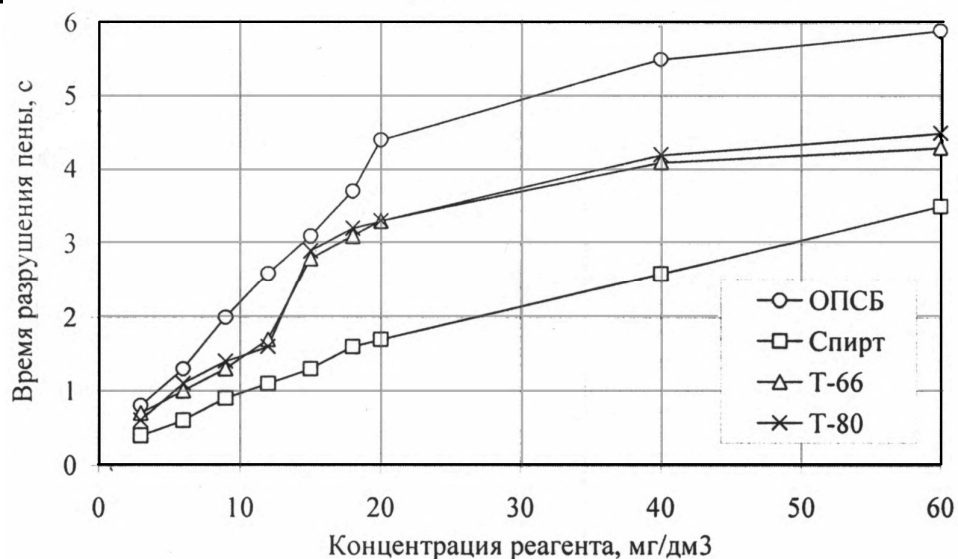
а



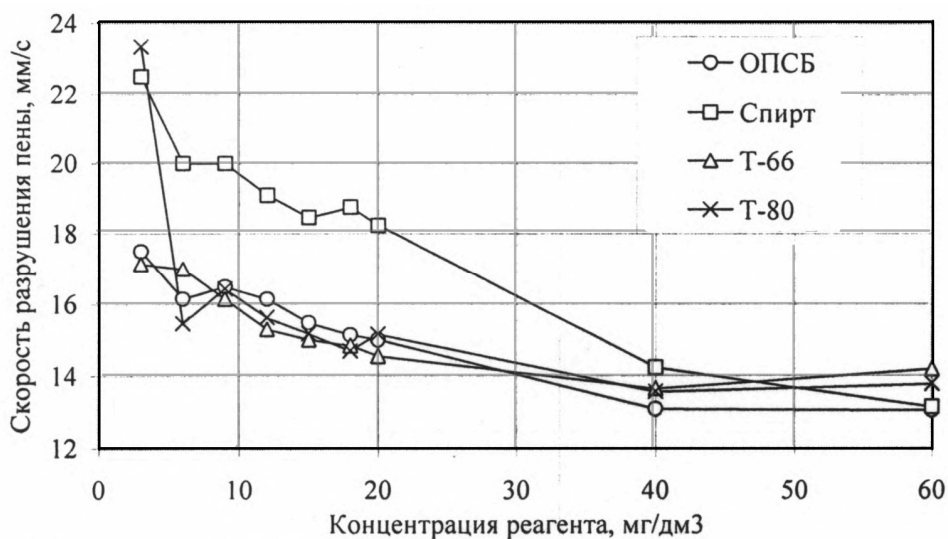
б

Рис. 2. Высота (а) и обводненность (б) пенного слоя в зависимости от расхода реагентов-вспенивателей

Последний факт может быть объяснен исходя из позиций, что обводненность пены и время ее разрушения являются интегральными параметрами, а скорость разрушения – дифференцированным параметром, характеризующим свойства пенного слоя в зависимости от концентрации реагента.



а



б

Рис. 3. Время (а) и скорость разрушения (б) пенного слоя в зависимости от расхода реагентов-вспенивателей

Также одной из важных характеристик пены является ее кратность. Среди многочисленных методов определения кратности пены таких, как измерение электропроводности пены и определение кратности по эмпирической линейной зависимости, разработка специальных устройств с использованием радиоактивного излучения [4], в данной работе был использован наиболее простой метод по непосредственному измерению соотношения высот пенного слоя, исходного раствора и количества раствора после образования пены максимальной высоты.

Полученные результаты представлены на рис. 4.



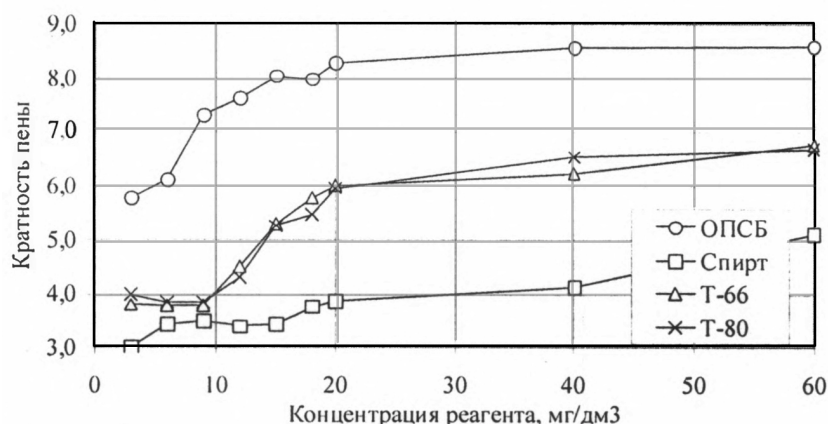


Рис. 4. Кратность пен в зависимости от концентрации вспенивателей

Представленные зависимости свидетельствуют о том, что наибольшей кратностью обладают пены, образованные из растворов ОПСБ, т.е. такие пены содержат наименьшее количество жидкости. Пены "сухого" типа эффективны при необходимости получения концентратов высокого качества, однако выход пенного продукта будет более низким в этом случае. Вспениватели Т-66 и Т-80 обеспечивают получение пен с близкими свойствами. Смесь синтетических спиртов дает наиболее "влажную" пену.

Выполненные исследования некоторых характеристик пен позволили сделать следующие основные выводы. В зависимости от необходимого качества пенного продукта следует подбирать вспениватели, обеспечивающие пену определенного качества. Наибольшей пенообразующей способностью обладают вспениватели ОПСБ и серии Т.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение таких важных характеристик пен, как структурно-механические характеристики.

### Список литературы

1. Пилов П.И., Анисимов Н.Т. Флотационный процесс, перспективы развития технологии и техники в угольной промышленности // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2003. – Вып. 18(59). – С. 93-95
2. Ласкорин Б.Н., Плаксина Л.Д. Физико-химические основы теории флотации. – М.: Наука, 1983. – 266 с.
3. Пенная сепарация и колонная флотація / Ю.Б. Рубинштейн, В.И. Мелик-Гайзакян, Н.В. Матвиенко, С.Б. Леонов. – М.: Недра, 1989. – 304 с.
4. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. – М.: Химия, 1975. – 264с.
5. Спинеев В.А. Резервы повышения степени аэрации во флотационном обогащения // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2003. – Вып. 18(59). – С. 109-118.
6. Исследование флотационной активности и экономической эффективности различных реагентов / И.П. Курченко, Л.А. Морозова, Г.А. Мавренко и др. // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2005. – Вып. 21(62). – С. 47-55.
7. Кривошеков В.И., Ермак О.А. К определению коэффициента гидравлического сопротивления пенного потока // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2005. –

## **Флотація**

---

Вип. 22(63). – С. 82-85.

8. Аровии И.А., Саранчук В.И. Новые флотореагенты для обогащения коксующихся углей и шламов из отстойников // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2005. – Вип. 22(63).-С. 86-90.

9. Бевзенко Б.Ф., Кауфман С.І., Жура В.В. Дослідження спінювачів в умовах лабораторного збагачення шламів рядового вугілля // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2005. – Вип. 22(63). – С. 91-97.

© Серафимова Л.И., 2015

*Надійшла до редколегії 22.02.2015 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*